

EMBOUS À ROTULE : UTILISER UNIQUEMENT DE LA QUALITÉ AVIATION

Vous aurez ce pour quoi vous avez payé.

Les embouts à rotule et roulements sphériques sont un groupe de composants aéronautiques qui ne reçoivent aucun respect. Ils ont tous l'air identiques (plus ou moins), et lorsqu'ils sont enfouis dans la cellule, les pilotes (et les constructeurs amateurs) ont tendance à ne pas y penser. « Hors de vue, hors de l'esprit ».



Le problème est que les embouts à rotule peuvent être l'une des pièces les plus courantes sur un aéronef, et ils sont utilisés dans de nombreux endroits autres que les systèmes de commandes de vol. Les embouts à rotule peuvent être trouvés sur des composants aussi variés que les tringleries de commande des gaz, les systèmes de train d'atterrissage rétractable, les roues de queue orientables et d'autres endroits apparemment « insignifiants ».

Malheureusement, ils sont faciles à oublier, jusqu'à ce qu'ils cassent.

Lorsque un embout à rotule casse, les choses peuvent devenir mauvaises, rapidement. La plupart des embouts à rotule sont utilisés à des endroits où ils sont chargés de gérer des charges considérables. Les embouts à rotule sont bien plus qu'importants : ils sont critiques. Et il y a quelque chose encore plus aigu : tous les embouts à rotule ne sont pas créés égaux. Certains sont de véritable qualité aérospatiale, d'autres ne sont rien de plus que de la camelote.

Là où cela devient vraiment confus est lorsque vous regardez un embout à rotule. Il est difficile de faire la différence entre un embout à rotule d'extrême qualité et un qui vient simplement de tomber du bateau depuis un atelier clandestin dans l'hémisphère Est.

Par conception, un embout à rotule consiste essentiellement en une bille sphérique conçue pour tourner à l'intérieur d'un logement. Cette bille est le roulement, et le logement dans lequel elle est contenue est la bague. La bille sphérique est usinée à plat de chaque côté, et cette « sphère » modifiée est percée d'un trou à travers le centre.

VOUS AUREZ CE QUE VOUS AVEZ PAYÉ

Ce sont les rudiments, mais il y a plus. Lorsque vous achetez des embouts à rotule pour votre avion, vous rencontrerez souvent des modèles « commerciaux » ou économiques. Bien qu'il existe un certain nombre de modèles économiques d'embouts à rotule disponibles (c'est là que la plupart des importations offshore interviennent), le seul type auquel vous devriez même commencer à penser pour une application aéronautique sont les modèles entièrement matriçés, en deux pièces.

Sur ces embouts à rotule, le corps est formé, ou matriçé, autour de la bille de sorte que la bague sur laquelle la bille roule fait en réalité partie du corps. En comparaison avec des embouts à rotule bon marché, c'est le seul type qui offre une résistance radiale ou de traction correcte couplée à une bonne résistance axiale. (La résistance axiale est la résistance de la bille à être poussée hors du côté du corps.)

Les embouts à rotule de meilleure qualité utilisent une conception de précision en trois pièces. Dans cette application, la bague est formée autour de la bille, puis l'insert de bague est serti dans le corps. Pourquoi est-ce important ? Simple. Ce type de construction offre un ajustement beaucoup plus proche ainsi qu'un degré de précision beaucoup plus élevé entre la bille et la bague.

Très souvent, cette configuration en trois pièces est appelée embout à rotule « aéronautique ». La conception en trois pièces permet d'incorporer différents matériaux pendant le processus de construction. Cela permet à son tour à l'embout à rotule de mieux correspondre à l'application. Les bagues peuvent être en acier doux, acier allié ou acier inoxydable (le laiton ou le bronze d'aluminium sont parfois utilisés mais doivent être évités en raison de leur faible résistance), et les corps sont en acier doux, acier allié ou acier inoxydable, aluminium ou même titane.

ROULEMENTS SPHÉRIQUES LUBRIFIÉS

Une autre option courante sur les embouts à rotule est une chemise en Téflon. Cela permet à l'embout à rotule d'être autolubrifiant. C'est important, car il est généralement difficile (voire impossible) de graisser ou huiler un embout à rotule une fois qu'il est installé sur une cellule et, par exemple, recouvert de tissu. Mais plus important est le fait que les graisseurs peuvent physiquement affaiblir l'embout à rotule (une bonne comparaison est un joint universel d'arbre de transmission automobile avec graisseur : les joints dits « lubrifiables » sont beaucoup plus fragiles que les exemples pleins, la raison étant qu'une cavité de graisse substantielle est nécessaire). Bien sûr, la graisse sur la rotule de l'embout à rotule attire aussi des particules, qui s'interposent entre la rotule et la bague, accélérant en réalité l'usure.

Une chemise en Téflon élimine la plupart, sinon la totalité, de ces circonstances. Par conception, une chemise Téflon consiste en un composant support, généralement un tissu (qui fournit la résistance à la compression), un composant Téflon pour la lubrification, ainsi que diverses résines de liaison. La chemise Téflon est liée à la bague de sorte que la rotule roule réellement sur la bague. Le mouvement de la rotule frotte du Téflon sur la rotule, ce qui, à son tour, fournit la lubrification.



Lors de l'achat de bons embouts à rotule, recherchez des modèles comme celui-ci. Il présente une conception de précision en trois pièces. Dans les embouts à rotule de ce type de construction, la bague est formée autour de la rotule, puis l'insert de bague est serti dans le corps. Ce type de construction offre un ajustement beaucoup plus serré ainsi qu'un degré de précision beaucoup plus élevé entre la rotule et la bague. En raison de la conception en trois pièces, différents matériaux peuvent être incorporés lors de la fabrication. Cela permet à l'embout à rotule de mieux correspondre à l'application (c'est-à-dire résistance par rapport aux charges).

Typiquement, vous pouvez acheter des embouts à rotule en deux ou trois pièces avec des chemises Téflon. Lorsque vous regardez des embouts à rotule avec revêtement Téflon, méfiez-vous des exemples bon marché avec du Téflon vierge (*). Il est relativement mou (environ 10 000 psi de résistance à la compression). Pendant ce temps, une bague composite Téflon de haute qualité aura une résistance à la compression quelque part entre 40 000 et 60 000 psi. Vous constaterez également qu'une bonne chemise Téflon élimine le jeu entre la bille et la bague, ce qui produit un ajustement plus serré.

Bien sûr, le simple fait d'ajouter une chemise Téflon à un embout à rotule n'assure pas la précision ou la performance. Un terme que vous rencontrerez lorsque vous traitez des embouts à rotule est ovalisation / matage de la bague. Ce à quoi cela fait référence est généralement quelques problèmes distincts. Le premier est la déformation de bagues autolubrifiantes de faible résistance. Certains « embouts à rotule économiques » ont des bagues qui sont construites en plastique moulé (occasionnellement mélangé avec une charge en fibre de verre). Du Téflon peut également être ajouté pour la lubrification. Ces unités ont une résistance à la compression de pas plus de 15 000 psi.

Cela provoque la déformation de la bague bien avant que le corps ne montre le moindre dommage.

L'autre type de défaillance de la bague par ovalisation / matage concerne la liaison physique entre la chemise et la bague de roulement. La nature autolubrifiante de la chemise Téflon rend parfois difficile son adhérence à la

bague de roulement. Si le fabricant ne peut pas réaliser cette liaison de manière suffisamment solide, alors la chemise se détachera de la bague de roulement. Chaque fois qu'il y a un désalignement de l'embout à rotule (plus à ce sujet plus loin), des morceaux de la chemise se désintègrent. Le résultat final sera un embout à rotule présentant des jeux qui s'avèrent excessifs. En dehors des spécifications MIL pour les roulements avec Téflon, il n'existe pas de normes définies pour la résistance de liaison de la bague. Bien entendu, si un fabricant d'embouts à rotule peut respecter cette norme et fabriquer une gamme de roulements approuvés pour usage militaire, alors il y a de fortes chances que ses autres roulements avec Téflon de haute qualité, non conformes MIL Spec, utilisent également ces mêmes critères de fabrication.

AVENTURES DANS LE « DÉALIGNEMENT »

Qu'est-ce que le désalignement des embouts à rotule ? Rappelez-vous lorsque j'ai indiqué les bases de la conception des embouts à rotule (la sphère dans la bague). Fondamentalement, ce n'est un secret pour personne, un boulon ou une fixation, de quelque type que ce soit, passe à travers le trou percé au centre de l'embout à rotule. À cause de cela, il est évident qu'il ne peut pas tourner sur 360 degrés complets à l'intérieur du logement (sans la fixation à travers le centre, la bille peut tourner sur un cercle complet). Compte tenu de ce fait, tous les embouts à rotule ont des limitations concernant la distance à laquelle ils peuvent être désalignés avant que la sphère ne se bloque dans le logement.

L'angle de désalignement est un facteur crucial lors de la sélection des embouts à rotule. Tous les embouts à rotule ne peuvent pas accepter le même degré de désalignement. Si vous dépassez les angles maximaux recommandés par le fabricant, le plus petit dommage que vous trouverez est une usure prématurée de l'embout à rotule. À l'autre extrémité du spectre, la pire chose que vous risquez est une défaillance pure et simple de l'embout à rotule.

Alors comment savez-vous quel est réellement l'angle de désalignement ? Pour mesurer les angles requis pour l'application, utilisez un bon vieux rapporteur pour vérifier dimensionnellement la géométrie. Vous constaterez que cet angle de désalignement est spécifié dans tous les catalogues d'embouts à rotule (du moins ceux des fabricants de qualité d'embouts à rotule). En comparant vos angles mesurés à ceux du catalogue, vous pourrez sélectionner le bon embout à rotule pour l'application. La plus grande erreur que vous pouvez faire est de contourner cette mesure et d'acheter un embout à rotule qui semble simplement assez grand pour faire le travail.

PLUS GROS PEUT ÊTRE MIEUX

En dehors du désalignement, il y a d'autres choses à considérer lors de la sélection d'un embout à rotule pour une application donnée. D'un point de vue dimensionnel, un embout à rotule est typiquement construit de deux façons. Le premier type a une tige (la partie filetée) qui a exactement le même diamètre que le trou dans la rotule (pour les besoins de comparaison, utilisons un embout à rotule avec un alésage de 3/4" couplé à une tige de 3/4"). Le second type a une tige qui est une taille plus grande que l'alésage (un bon exemple est un alésage de 5/8" associé à une tige de 3/4"). Le second type (alésage plus petit, tige plus grande) présente un avantage, en particulier lorsque des charges de flexion peuvent être présentes.



Examinez attentivement cet embout à rotule. Voyez comment la rotule n'est pas centrée ? C'est le désalignement que la conception de l'embout à rotule peut accepter. Évidemment, vous savez qu'un type de fixation passe à travers le trou percé au centre de l'embout à rotule. De ce fait, la rotule ne peut pas tourner de 360 degrés complets à l'intérieur du corps (sans la fixation passant par le centre, la rotule peut effectuer une rotation sur un cercle complet). Tous les embouts à rotule sont limités quant au degré de désalignement qu'ils peuvent accepter avant que la rotule ne se bloque dans le corps. L'angle de désalignement est un facteur critique lors du choix des embouts à rotule. Tous les embouts à rotule ne peuvent pas accepter le même degré de désalignement que les autres. Vérifiez les angles maximaux recommandés par le fabricant dans son catalogue, puis commandez les rotules appropriées (les différents embouts à rotule ont des tolérances de désalignement différentes). Le texte fournit des informations sur la mesure du désalignement (c'est très simple).

Un bon exemple (évidemment, mais avec des dimensions d'embouts à rotule plus petites) est une configuration de tige push-pull. Dans ce cas, nous avons des barres tubulaires agissant comme leviers, transmettant des forces considérables et, en retour, recevant souvent des forces également considérables. Dans ce type d'application, une conception d'embout à rotule à tige plus grande fournit plus de résistance ainsi qu'une quantité importante de capacité de résistance de réserve. Gardez à l'esprit, cependant, que certaines applications de tige push-pull imposent l'utilisation d'embouts à rotule femelles, et non mâles.

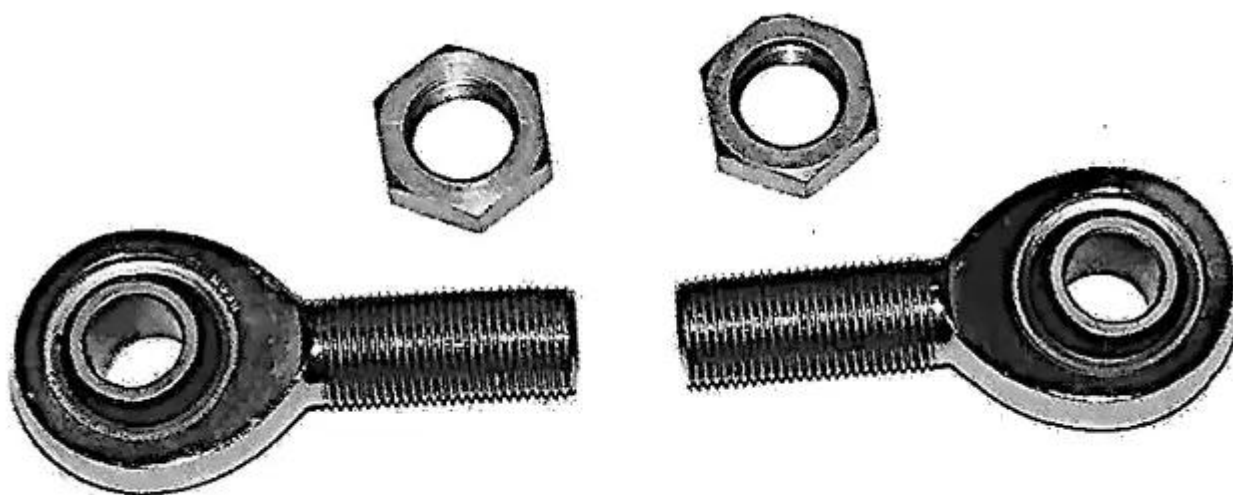
En fabrication, une tige surdimensionnée est généralement réalisée en installant un insert d'une taille plus petite dans le corps de la pièce avec la tige la plus grande. De ce fait (en reprenant encore une fois les embouts à rotule de grande taille comme exemples), un embout à rotule $5/8" \times 3/4"$ présentera des capacités de charge plus élevées qu'un embout à rotule $3/4" \times 3/4"$, à condition que les deux soient fabriqués à partir de matériaux similaires. Cela est dû au fait qu'il y a plus de matière dans le corps autour de l'insert.

Vous constaterez également que des embouts à rotule asymétriques fournissent un meilleur accès de clé sur de nombreux composants. Pourquoi ? La fixation qui passe à travers le centre de l'embout à rotule est plus petite.

Il existe une exception au schéma de construction de tige surdimensionnée ci-dessus : certaines entreprises proposent un embout à rotule où une tige plus grande est ajoutée à un corps plus petit. Bien que cette configuration remplisse le même objectif que la situation de tige surdimensionnée mentionnée ci-dessus, elle fournit moins de matière autour de la rotule de l'embout (tout simplement parce qu'il y a moins de matériau entourant le roulement sphérique).

LES MATÉRIAUX COMPTENT

Nous n'avons pas terminé avec la sélection des embouts à rotule. Il y a plus. Une fois que vous avez établi les calculs de désalignement et les dimensions, vous devez considérer les éléments utilisés dans la construction de l'embout à rotule. Comme mentionné précédemment, il existe un certain nombre de matériaux différents utilisés dans la fabrication des embouts à rotule. Les rotules elles-mêmes sont généralement soumises aux charges les plus élevées rencontrées par l'embout à rotule. À cause de cela, elles nécessitent la plus grande dureté et, bien sûr, la résistance ultime.



Il y a quelque chose que vous ne pouvez vraiment pas voir ici : les embouts à rotule sont généralement disponibles avec un filetage à gauche ou à droite. Cela signifie que, pour les applications spécifiques nécessitant un filetage à gauche ou à droite, il vous suffit de commander l'embout à rotule approprié (soyez prudent ; certaines des références indiquées dans les catalogues d'embouts à rotule sont, au mieux, déroutantes en ce qui concerne les types de filetage). Il y a une autre chose à prendre en considération : soyez prudent lors de l'achat des contre-écrous. Ils ne sont pas tous de qualité équivalente non plus. Franchement, l'industrie des roulements sphériques est envahie de composants de qualité inférieure imitant les originaux. Et, comme les embouts à rotule de qualité inférieure fabriqués à l'étranger, certains de ces produits sont de la véritable camelote.

Certaines rotules d'embouts à rotule commerciaux sont fabriquées en bronze ou même en billes d'acier fritté. Du point de vue de la résistance, ces matériaux ne sont pas très bons. Mais il y a une grande réserve : certains aciers frittés sont parfaitement adaptés à l'application. Vous voyez, même des géants de l'automobile ont commencé à utiliser l'acier fritté pour des applications à fortes contraintes comme les bielles. Et avec un traitement thermique approprié, les aciers frittés peuvent fonctionner correctement dans une application de rotule d'embout à rotule de service moyen.

D'un autre côté, les embouts à rotule de haute qualité incorporent normalement des rotules en acier traité thermiquement (typiquement des aciers chrome-molybdène, de l'inoc et des aciers à roulements 52100 sont utilisés). Pour rester rondes, les rotules doivent être extrêmement dures (souvent les rotules sont chromées pour fournir une surface de roulement lisse). Cela est critique lorsque la rotule est placée sous charge.

En raison du traitement thermique et de la dureté globale de la rotule, la bague externe de l'embout à rotule doit être dure, mais pas aussi dure que la rotule. La plupart des embouts à rotule en trois pièces utilisent une

bague fabriquée en acier allié trempé à cœur ou en acier inoxydable pouvant être durci. Dans ces deux cas, les bagues externes sont traitées thermiquement pour la résistance à l'usure et, bien sûr, pour la résistance mécanique.



Ces deux embouts à rotule Aurora ont de grandes tiges filetées de 3/4". L'embout à rotule de droite est un modèle standard ; l'embout à rotule de gauche est un modèle renforcé (HD). Quelle est la différence ? Le modèle HD possède un alésage de 5/8" ; la version standard possède un alésage de 3/4". En fabrication, une tige filetée surdimensionnée est généralement réalisée en installant un insert d'une taille inférieure dans le corps de la pièce ayant la tige filetée de plus grande taille. De ce fait, un embout à rotule de 5/8" x 3/4" présentera des capacités de charge supérieures à celles d'un embout à rotule de 3/4" x 3/4", à condition que les deux soient fabriqués à partir de matériaux similaires. Il existe une exception à la règle ci-dessus concernant les tiges filetées surdimensionnées : certaines entreprises proposent un embout à rotule dans lequel une tige filetée de plus grande taille est ajoutée à un corps plus petit. Bien que cette configuration remplisse le même rôle que la tige filetée surdimensionnée, elle offre moins de matière autour de la rotule de l'embout à rotule (tout simplement parce qu'il y a moins de matériau entourant le roulement sphérique).

Les embouts à rotule commerciaux ou économiques ont généralement des corps construits en aciers doux à faible teneur en carbone. En raison de leur nature, il n'est pas possible de les tremper à cœur. Bien que ce matériau moins coûteux puisse fonctionner dans une application faiblement chargée, les corps d'embouts à rotule fabriqués en chrome-molybdène ou en acier inoxydable traité thermiquement sont nettement supérieurs pour les applications aéronautiques. En utilisant un corps en chrome-molybdène ou en acier inoxydable, la taille physique de l'embout à rotule peut être réduite (simplement parce que le matériau est plus résistant).

Vous constaterez également que certains fabricants utilisent l'aluminium 7075-T6 pour les corps d'embouts à rotule.

Fondamentalement, l'aluminium 7075-T6 est l'une des qualités d'aluminium les plus résistantes et possède une résistance à la traction légèrement supérieure à celle de l'acier doux. Si vous aviez une paire d'embouts à rotule avec une conception similaire, et que l'un était fabriqué en acier doux et l'autre en 7075-T6, vous obtiendriez

des résistances globalement similaires.

Malheureusement, l'aluminium est moins tolérant (sous sollicitation, il ne se déformera pas ou ne fléchira pas autant que l'acier doux avant rupture). Et lorsque vous comparez la résistance d'un embout à rotule en aluminium à celle d'un composant en chrome-molybdène ou en acier inoxydable traité thermiquement, vous constaterez que les versions en acier sont presque deux fois plus résistantes.

Donc, quelle est la conclusion en matière de matériaux ? À moins que vous ne soyez absolument certain des charges rencontrées et que vous ayez une bonne compréhension des limites des embouts à rotule en aluminium, utilisez des modèles en acier traité thermiquement de haute qualité. Il vaut mieux être prudent que désolé.

COMMENT IDENTIFIER LES ÉLÉMENTS SANS RÉFÉRENCE



Cet embout à rotule Aurora est doté d'une bague composite en Téflon (vous pouvez généralement acheter des embouts à rotule en deux ou trois pièces avec des bagues en Téflon). Par conception, la bague est constituée d'un support, généralement un tissu (qui fournit la résistance à la compression), d'un composant en Téflon pour ses propriétés lubrifiantes, ainsi que de diverses résines de liaison. La bague en Téflon est liée à la bague de roulement, de sorte que la rotule se déplace effectivement sur la bague. Le mouvement de la rotule dépose du Téflon sur la rotule, ce qui assure la lubrification. Lorsque vous examinez des embouts à rotule à bague en Téflon, méfiez-vous des produits bon marché fabriqués avec du Téflon vierge. Il est relativement tendre (résistance à la compression d'environ 10 000 psi). En revanche, une bague composite en Téflon de haute qualité présentera une résistance à la compression comprise entre 40 000 et 60 000 psi.

Les embouts à rotule d'occasion ou de surplus sont-ils une bonne affaire ? En termes simples : non. Il existe des avis divergents sur ce sujet, mais je n'y penserais même pas. Voici mon raisonnement : comme tout autre élément de quincaillerie, un embout à rotule a une durée de vie mécanique limitée. Vous ne savez tout simplement pas si un embout de surplus ou d'occasion a atteint son cycle de vie ou non. Il n'existe aucun moyen sûr de réparer ou de « resserrer » un roulement usé. Tout roulement (embout à rotule ou autre) qui a été marqué dans la zone de la bague ou plié doit être mis au rebut. Il en va de même pour tout embout à rotule présentant un quelconque allongement des filetages ou de la tête. Tout embout à rotule ayant été impliqué dans un accident doit également être examiné de près. Remplacer des roulements suspects est une assurance

bon marché.

Alors, comment pouvez-vous savoir si un roulement est une pièce de haute qualité ou non ? À deux pieds de distance, il est difficile de distinguer les imitations offshore de l'article authentique. Voici le secret : regardez un embout à rotule de la même manière que vous regarderiez tout composant aérospatial de précision. Inspectez l'usinage. La surface de la bague est-elle rugueuse ou lisse ? Même chose pour la rotule : est-elle bien usinée et lisse ?

Si l'embout à rotule n'est pas une configuration avec Téflon, la rotule s'ajuste-t-elle précisément dans le corps ou bien y a-t-il du jeu ou un blocage ?

Lorsqu'on examine un roulement avec Téflon, y a-t-il des interstices dans la chemise en Téflon ou des zones où la bague est réellement mal fixée ?

Fondamentalement, un embout à rotule avec revêtement Téflon doit former une pièce continue et solidement liée. Comme vous pouvez le voir, il existe un certain nombre d'indices permettant de déterminer ce qui constitue un roulement de qualité et ce qui constitue de la mauvaise qualité.

Au final, les meilleurs embouts à rotule pour avions sont ceux qui sont conçus et fabriqués selon une ingénierie appropriée et soutenus par un programme de R&D rigoureux. Dans le monde réel, l'embout à rotule que vous recherchez doit comporter des rotules en acier rectifiées avec précision, et il doit être fabriqué avec des matériaux de la plus haute qualité. Si vous n'adoptez pas cette approche, la seule personne que vous tromperez sera vous-même. La qualité coûte de l'argent. Ce n'est pas un endroit pour faire des économies.

(*) QU'EST-CE QUE LE TÉFLON VIERGE, AU JUSTE ?

Le Téflon vierge est la version pure, sans additifs, composée à 100 % de *polytétrafluoroéthylène*. Il est blanc, assez souple et réputé pour son frottement ultra-faible (un coefficient d'environ 0,05 à 0,10, l'un des plus bas du marché). Il supporte des températures allant de -200 °C jusqu'à 260 °C en continu, et résiste à presque tous les produits chimiques, à l'exception de quelques substances extrêmes comme les alcalis fondus.

Les inconvénients ? Il présente un phénomène de fluage sous charge, ce qui signifie qu'il se déforme lentement s'il est comprimé sur le long terme, et s'use plus rapidement dans les applications de glissement. Il est idéal pour les conduites de produits chimiques purs, le contact alimentaire (approuvé par la FDA) ou l'isolation électrique nécessitant une absence totale de contamination.